

الشفرة الوراثية

مقدمة :

من المعلوم أن كلمة بيوس اليونانية معناها الحياة وكلمة لوجوس معناها العلم . فالبيولوجيا « علم الحياة » يختص بدراسة الحياة وأشكالها والقوانين المنظمة لها ابتداء من الفيروسات - وهي من أدنى أشكال الحياة - الى الانسان ، كما تدرس نواحي أخرى عديدة في تطور الكائنات ونشاطها وعلاقتها بالبيئة . وتعنى البيولوجيا أيضا بانتقال الصفات الموروثة من جيل الى جيل ، ويختص بهذه الدراسة علم مستقل من علوم الحياة وهو « علم الوراثة » . ومنذ كشف جريجورى مندل قانون سيادة وانعزال الصفات الموروثة (أى الصفات التى تنتقل من كائن حى الى أجياله التالية) فى سنة ١٨٦٦ أصبحت هذه الدراسة علما له نظريات وأصول .

وكان العلماء القدامى يبحثون المظاهر فقط ولكن المحدثين طوروا هذا العلم فى السنوات

تأليف :

إيزاك أزيموڤ

بمّلم :

د. عبدالعزیز أمين

العشرين الأخيرة واقتحموا أسراراً أكثر تعقيداً مما كشفه مندل . فاستخدموا العلم الحديث والتكنولوجيا الحديثة في فحص مكنون الحياة وما بداخل خلايا الكائنات الحية من أسرار مهما بلغت من الدقة والتشابك .

وفي سنة ١٩٤٤ بالذات عرف مركب كيميائي كأنه السحر ويدعى « ديزادكسى ريبو حامض النسويك » ويرمز له بالحروف الأولى D.N.A. وتبين أن هذا الحامض النووي يحول سلالة من بكتريا الى أخرى . وتتألف أزيموف هذه الناحية بالذات فى كتابه « الشفرة الوراثية » وأوضح فيه الكثير من المصطلحات والرموز والموضوعات الكيميائية بأسلوب شيق حتى تدرج فيه صعوداً فى آفاق أحدث النظريات العلمية التى أدت الى كشف سر الوراثة مبيناً أن علم الوراثة لم يعد علماً من علوم النبات أو الحيوان بل أصبح علماً من علوم الكيمياء الحيوية وتسمى « علم كيمياء الجزيئات الكبيرة » . وبين أن الجينات التى تحمل الصفات الموروثة بها مادة D.N.A. التى ترافق وتتحكم فى التفاعلات بداخل خلايا الجسم وتكسبه الصفات الموروثة .

حياة المؤلف ومؤلفاته :

يشغل اسحق أزيموف منصب استاذ مشارك لمادة الكيمياء الحيوية فى كلية الطب بجامعة بوسطن بالولايات المتحدة الأمريكية ، وهو من ألمع العلماء المعاصرين وأشهرهم فى بحوث الكيمياء الحيوية وبخاصة كيمياء الجزيئات الكبيرة ، ويمتاز بعبقريته فى البحث ومهارته فى تعليم مادة تخصصه لغير

المختصين ، فأسلوبه مبسط يتسم بحسن التصوير وتبسيط الرموز والمعادلات الكيميائية والقوانين الكيميائية للمركبات، ويتدرج فى أسلوبه ويحلل الانتصارات العلمية الواحد تلو الآخر فى تدرج منطقي . ويمتاز المؤلف لهذا الكتاب بابرار أعمال العلماء النابغين ويشير الى حصول أكثرهم على جائزة نوبل فى الطب والكيمياء والفسيولوجيا ليشير القارىء ويدفع الشباب الى التطلع لبلوغ الأمجاد العلمية فى خدمة الإنسانية والسلام .

ولعل كتاب « الشفرة الوراثية *The Genetic Code* » هو أحسن ما كتبه أخيراً فى الكيمياء الحيوية .

ولأزيموف عدة مؤلفات علمية مبسطة للقارىء العادى للاستزادة من الثقافة العلمية الرفيعة كلها تلمس حياة الانسان لمسا مباشراً فوجد فى كتابه « ينابيع الحياة *The Wellsprings of Life* » معالجة شيقة سهلة لكيمياء الخلية وعلاقتها بالتطور والنمو والوراثة وتشكيل أعضاء الكائن الحى . أما كتابه « كيمياء الحياة *Chemicals of Life* » فيبحث فى المواد الكيميائية التى بأجسامنا وأجسام الأحياء عامة وبخاصة دور الأنزيمات (الحماض) والهرمونات والبروتينات والفيامينات وأهميتها فى حياتنا . ولم تقتصر مؤلفاته على النواحي الكيميائية الحيوية فله كتاب بعنوان « *The Human Body* » جسم الانسان استعرض فيه بناء جسم الانسان ووظائف الأعضاء ويشير فيه الى أحدث ما بلغته المعرفة عن بناء أجسامنا ويبسط المصطلحات العلمية ويوضح طرق نطقها الصحيح واشتقاقاتها من أصولها اليونانية واللاتينية القديمة . ومن أهم كتبه أيضاً

حل مشاكل صعبة كان يظن حلها مستحيلا ،
وتحولت الافكار التي كانوا يعتقدون أنها من
نسيج الخيال الى حقائق راسخة . ويتسابق العلماء
فى حلبة البحث عن المعرفة وقد انتصر منهم
كثيرون

اسلوب ازيموف :

ويطوف بك ازيموف فى تاريخ العلوم منذ
عهد جاليلو فى القرن السابع عشر ومشاهداته
الفلكية وقياساته الى استنباط نيوتن لقوانين الحركة
الى ترويض الكهرباء والمغناطيسية فى القرن التاسع
عشر الى كشف النشاط الاشعاعى ونشوء نظرية
التطور ونظرية الكم ونظرية النسبية فى القرن
العشرين .

ولا يلتزم ازيموف ببرنامج زمنى فيطوف
بقارئه كالنحلة تجمع الرحيق من زهرة الى
زهرة فى بستان العلوم فيعود الى القرن الثامن
عشر واستخدام لفوازيه القياسات الكمية فى
الكيمياء ثم الى القرن التاسع عشر وكشف قوانين
التحليل الكهربائى وقانون النظام الدورى لمندليف
وفجر الكيمياء العضوية وامكان تخليق المواد
العضوية فى المعامل . ثم يعود الى القرن العشرين
واستخدام نظرية الكم فى تحديد طرق الترابط
بين الذرات لتكوين الجزيئات .

ويتابع انتصارات الفكر فى معرفة الكون ونمو
العلوم الطبيعية والعلوم البيولوجية ويشير الى
كشف « أشعة الموت » فى شكل جهاز « الليزر »
فيقول ما نصه :

« لقد كان الانسان قادراً دائماً دائماً على استخدام
المعرفة لايلام البشر وشقائه منذ عرف استخدام

« مخ الانسان *The Humain Brain* » يستعرض
فيه وظائف المخ الانسانى وقدراته المذهلة ويشرح
تنظيم المخ لوظائف الأعضاء وتحكمه فيها ، وهو
كتاب يكمل كتاب « جسم الانسان » .

يستخدم ازيموف مخاطبة القارئ مباشرة
فيشير منذ مطلع كتابه « الشفرة الوراثية » الى
الانتصارات العلمية الحديثة والى اننا فى المرحلة
الأولى من أحد هذه الانتصارات الهامة فى تاريخ
الانسانية . ويستعرض الاقتحامات العلمية لأسرار
الحياة منذ فجر القرن التاسع عشر والى الطفرة
العلمية منذ الحرب العالمية الثانية كاستخدام النظائر
المشعة فى الكيمياء الجيوية ، والى طرق
كروماتوجرافيا الورق فى فصل المركبات العضوية ،
والى مطياف الكتلة لفصل الذرات ، وينتقل بعد
هذا التثويق الى المعرفة فيحدد هدف الكتاب
وهو كشف سر « الشفرة الوراثية » ، ويشير بخاصة
الى كشف أو.تى. أفري O.T. Avery سنة ١٩٤٤
لمادة توجد فى النواة فى الخلايا الحية وتغير سلالة
البكتريا الى سلالة أخرى . وهى مادة د.ن. ا. D.N.A.
ويشوقك الى هذا الكشف فيقول ما نصه :

« قد يبدو أن هذا الكشف غير هام بالنسبة
للقارئ العادى ، ولكنه قلب المفاهيم القديمة التى
آمن بها العلماء لعدة قرون دون برهان . فقد
وجه هذا الكشف العلماء صوب بحوث فى طبيعة
الحياة فامتدت أعمالهم واستنبطوا طرقاً حديثة فى
مجالات العلوم . وأصبح علم البيولوجيا الجزيئية
علماً مستقلاً تمكن فى أقل من عشرين سنة من

النار وأمسك بمصاه لأول مرة، واستمر في شروعه حتى الأربعينات من القرن العشرين فاستخدم المعرفة لدمار الجنس البشرى بل وربما لدمار الحياة كلها . . . » .

ولعل أزيموف يقصد استخدام الانسان التقابل الذرية والهيدروجينية وما أشبهها من اسلحة الدمار والقضاء الشامل .

ويقدر أزيموف الزمن اللازم منذ ظهور الكشف العلمى الأسيل الى بلوغ هذا الكشف أوج الازدهار فى التطبيق بستين عاما مستندا الى أمللة عديدة من الكشوف العلمية السابقة . فمنذ كشف أورستيد سنة ١٨٢٠ تذبذب ابرة المغناطيس اذا قربت من تيار كهربائى الى عهد كشف مصباح أديسون المتوهج ستون عاما . ومنذ كشف أديسون الظاهرة (الانكترونية) المعروفة بظاهرة اديسون الى أوج علم الانكترونات ٦٠ عاما تقريبا . ومنذ كشف بيكرل تأثير أملاح اليورانيوم فى الواح التصوير الفوتوغرافى حتى ولو كانت مغلفة بالورق الأسود حتى عهد تحطيم الذرة ٦٠ عاما أيضا . والى سنة ١٩٠٣ عندما أطلق الأخوة «رايت» أول طائرة انقل من الهواء وتطور الطيران الحديث والنفقات عابرة القارات التى تفوق سرعتها سرعة الصوت . كما يشير الى الصاروخ الذى أطلقه « جوادارد » سنة ١٩٢٦ باستخدام الوقود السائل والأكسجين فارتفع ١٤٨ قدما بسرعة ٦٠ ميلا فى الساعة وانتقال سفن الفضاء الآن بسرعة بلغت ١٨٠٠٠ ميل فى الساعة وتوقع أزيموف فى كتابه انشاء قواعد علمية على سطح القمر فى مدى ستين عاما من كشف جوادارد .

ويعود المؤلف بنا الى كشف حامض ديزوكسى ريبونوويك (د.ن.١٠) ويتوقع ان فى سنة ٢٠٠٤ سيبلغ العلم مرحلة يضمن بها سلامته حتى ضد الهلاك الذاتى . ويشير الى خلفية الاقتحام العلمى لأسرار الحياة ومعناها الكامل وما سيترتب عليه من الآمال فى سنة ٢٠٠٤ .

ويستعين أزيموف بالتشبيه فى سرد الحقائق العلمية فيشبه الرموز الكيميائية بالحروف الهجائية، والصيغ الكيميائية بالكلمات ، وترتيب الجزئيات الكبيرة والترابط بين أجزائها بالجعل فى اللغة.

ويتحدث أزيموف عن علم الوراثة بأسلوب مبتكر يختلف عما ألفناه فيتحدث عن الوراثة والكروموسومات وانقسام الخلية فى ايجاز لأنها موضوعات تعتبر الآن من موضوعات المقررات فى الدراسة العامة ، ثم ينتقل بسرعة الى شرح مكونات مادة الكروموسومات . ولهذا الغرض يعرض الى تفسير معنى الكربوهيدرات (كالكسكروموسومات) والنشأ (كالملييسدات) كالزيوت والدهون (والبروتينات (كزلال البيض والجلياتين) . ويدخل بعد ذلك فى تركيب الكروموسومات بغية الوصول بالقارئ الى أسرار الشفرة الوراثية ، فيضطر الى شرح معنى الذرات والجزئيات والرموز والصيغ فى باب مستقل أسماه « لغة الكيمياء » .

وأوضح فى « لغة الكيمياء » كيفية بناء الجزئيات الكبيرة (العلاقة) مبتدئا بالأحماض الأمينية مل الجلايسين ويشرح أنواع هذه الأحماض وكيفية ترابط جزيئاتها بعضها ببعض الآخر لتكون جزيئات كبيرة تسمى الببتيدات العديدة أو «البولى ببتيدات » ومثلها الحرير الطبيعى المكون من ترابط

الحمضين الأمينين : الجلايسين والألنن • ثم يشير الى أنواع البروتينات وتشكيلاتها من الترابط بين الأحماض الأمينية المختلفة على هيئة البولي بيتيدات مشبها هذه التشكيلات بإمكان تعيين الكلمة الصحيحة في موضعها المناسب في جملة، وإمكان تغير المعنى باختلاف موضع الكلمة في الجملة • وكذلك البولي بيتيدات تتغير طبيعتها بتغير ترتيب الأحماض الأمينية المكونة لها فيقول ما نصه :

« جون ضرب جيم في عينه فقط »

أو جون فقط ضرب جيم في عينه

أو جون ضرب فقط جيم في عينه

الى غير ذلك من التباين تجد تباينا كبيرا في المعنى • •

وتحدد الأحماض الأمينية التي تهمنا باثنين وعشرين حمضا يعتبرها بمثابة ٢٢ كلمة تعبر عن أى نوع من جزيئات البروتينات • وينتقل الى ظهور الحامض النووي (حامض النوويك) وتكوينه وأنواعه • ثم يدخل في أعماق الكروموسومات وتكوينها والجينات وأثر المركب الجديد (دن ١٠) وشبيهه (رن ١٠) في عملية توارث الصفات فيميط اللثام عن سر الشفرة الوراثية •

ويعالج أزيموف الموضوعات العلمية التي تحتاج الى تعمق كبير في الكيمياء الحيوية وكيمياء الجزيئات العملاقة بأبسط الأساليب • فمثلا نجده يعالج خواص البروتينات فيقول ما نصه :

• • • والواقع ان البروتينات مركبات شديدة الحساسية ، وهي المادة الأساسية للحياة ، فان أى

ضرر يصيبها يلحق بالجسم كله ضررا أو قد يميته • • • ولا عجب اذا اعتقد البيولوجيون يوما ما أن أغلب طبيعة الكروموسومات بروتين •

والواقع انها ليست بروتينا فحسب ، بل بعض البروتينات مثل بياض البيض بروتين بسيط أما بروتين الدم (الهيموجلوبين) فليس خالصا فمن الممكن أن ينشق الى شطرين مكونا مادتين هما « الهيمي » و « الجلوبيين » فبينما نجد الجلوبيين بروتينا حقيقيا فان الهيمي مادة تحتوى على حديد ولا خواص بروتينية لها • وتتصل مادة الهيمي بالجلوبيين اتصالا وثيقا فلذلك يسمى الهيموجلوبين « بروتين مقترن » أى مرتبط بمادة أخرى • فالبروتينات المقترنة يرتبط ما بها من بروتين بسيط بمواد أخرى مختلفة الأنواع مثل الكربوهيدرات والليبيدات والصبغات والفلزات غير الحديد ومواد أخرى • ويعتبر بروتين الكروموسومات بخاصة من النوع المقترن فهو يتكون من بروتين مقترن بمادة أخرى غير المواد المذكورة • وهى مادة عجيبة لم تكتشف الا منذ قرن واحد • ففي سنة ١٨٦٩ فصل العالم الألماني فريدريش ميسر مادة من انسجة حية ووجدها ليست كربوهيدرات وليست ليبيد ولا بروتين وكان قد حصل عليها من نواة الحلية ولذلك سماها نيوكلين nuclein تبين فيما بعد ان لها خواص الأحماض فأعيد تسميتها الى حامض النوويك وكانت هذه المادة هى المتصلة بالبروتين في الكروموسومات ومن ثم أعقبت المادة التي تتكون منها الكروموسومات « بروتينا نوويا » أى بروتين مقترن • •

وعلى الرغم من أن الكتاب مختصر بالكشف عن شفرة الوراثة الا أن المؤلف استرسل في شرح

(أحادية) وتمتص هذه النواتج حتى تصل الى خلايا الجسم حيث يتم اعادة تكوين البروتينات والدهون والكربوهيدرات الخاصة بالكائن الحي .
وتتم هذه التفاعلات بمساعدة الأنزيمات التي تعمل على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية ، الحيوية . ولكل تفاعل معين انزيم معين ، فكل نوع من الكائنات آلاف الأنواع من الأنزيمات . ويمكننا بالتالى أن نعتبر عدد البروتينات المختلفة قد يبلغ الملايين . والانزيمات مفاتيح التفاعلات لبناء البروتين على هيئة سلاسل طويلة . وقد يؤدي التغير فى كمية الأنزيم الواحد بين الأنزيمات العديدة فى الجسم الى تغيرات هائلة فى الخلايا المستخدمة لهذا الانزيم بل الى خلل فى الكائن الحي كله .

والمعروف ان الصبغة السمراء التى بالجلد تتكون فى خلايا البشرة من تفاعلات يتحكم فيها أنزيم معين . ولكن قد يولد طفل فاقدا قدرة تكوين أحد الانزيمات المعجلة لتفاعلات تكوين الصبغة السمراء فيكون الطفل أبيض اللون أبيض الشعر وعينه حمراوتان وهو ما تسميه بالعامة فى مصر « عدو الشمس » . وهذه صفة وراثية . ولكنها قد لا تنشأ بسبب عدم نشاط خلايا معينة بل قد ترجع الى تغير فى كمية الأنزيم الواحد المعين .

ونستطيع استقصاء فعل الأنزيم حتى نبلغ أثره النهائى . فعدم وجوده أو عدم توافقه مع أنزيمات معينة أخرى يقطع سلسلة التفاعلات التى تؤدي فى النهاية الى تكوين الصبغة السمراء مثلا . وهناك أنزيم معين يعجل أحد تفاعلات

عدة موضوعات كان بالأحرى اختصارها ليتفرغ لايضاح شفرة الوراثة . فقد اكرر من ذكر أسماء المركبات الكيميائية وقوانينها وتركيبها البنائى مما قد يجعل القارئ العادى يخشى التحول فى متاهات كيميائية يظن أنها أعلى من مستواه الثقافى . ومع ذلك فالقارئ الصابر يستطيع فى سهولة ويسر أن يتدرج مع الكتاب من أوله الى آخره دون ملل ، ولو أنه قد يلجأ من حين الى آخر للرجوع الى باب سابق للتأكد مما يذكره القارئ من معلومات متدرجة ، وبخاصة عندما يشرح المؤلف عملية تناسخ الكروموسومات ويوضح نظرية « النيوكليوتيدات الأربعة » وما بها من أسماء مصطلحات علمية لأنواع المكونة لهذه النيوكليوتيدات واحتمالات تبادلها .

المادة الحية :

بعد شرح مكونات المادة الحية وتكوين الكروموسومات يستعرض أزيوف تنوع البروتينات وفعل الأنزيمات (الحماثر) فى بناء هذه البروتينات . فالكائنات الحية تستطيع بناء بروتيناتها ودهونها وكربوهيدراتها والمواد العضوية الأخرى بأجسامها من المواد العضوية الأخرى بأجسامها من المواد العضوية التى تحصل عليها من بيئتها على شكل غذاء فتتحول البروتينات اثناء الهضم الى أحماض أمينية ، وتتحول الدهون الى جلسرين وأحماض دهنية ، وتتحول الكربوهيدرات المعقدة الى سكريات بسيطة

سلسلة تكوين الصبغة السمراء ، فإذا لم يتكون هذا الأنزيم المعين (واسمه فينيل الألانيناز phenyl alalanine) فإن الشخص يكون أشقر ويقاسى عادة من مرض التأخر الذهني . ومع ذلك فباستقصاء الصفات المميزة للكائن نجدها ترجع الى توازن بين الأنزيمات فى الخلية ، ولذلك يفترض علماء الكيمياء الحيوية ان مميزات الكائن الحى هى الجانب المرنى للتوازن بين الأنزيمات . فإذا أردنا حل لغز الشفرة الوراثية فالتا نصادف موضوعين هامين : أحدهما ما الذى يوجد فى البروتين ليجعله يشكل عددا كبيرا من الأنزيمات ؟ وثانيهما ماذا يوجد فى الكروموسومات ليجعلها تنتج الأنزيمات المعينة دون غيرها ؟

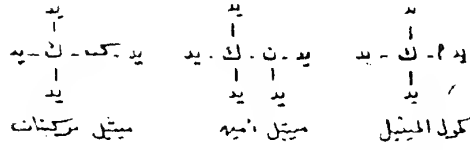
والأجابة على ذلك نضطر للانغماس فى لغة
الكماء بما فيها من رموز وصيغ •

لغة الكمياء :

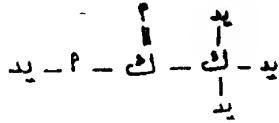
أن العناصر الموجودة في الطبيعة ٩٢ عنصرا ولا يهمنا منها سوى ستة عناصر هي الكربون ويرمز له بالرمز ك والهيدروجين ويرمز له بالرمز يد والأكسجين ويرمز له بالرمز (ا) والتروجين ويرمز له بالرمز ن والكبريت ورمزه ك وأخيرا الفوسفور ورمزه فو .

يد - لك - يد يد - ن - يد يد - أ - يد يد - يكتب - يد
 يد يد يد يد
 ثمة الميثاق عار السار الحار كبريتيد الهيدروس
 شكل (٢) بناء الجزئيات

ويكون كحول الميثيل أو ميثيل أمين أو ميثيل مركبات كما في شكل (٤) .



وقد ترتبط ذرة الكربون مع الأكسجين برابطة مزدوجة مثل جزئ حامض الخليك وهو ملدة الحل مثل شكل (٥) .



فحامض الخليك يتكون من ثلاثة مقاطع هي - ك يد ٣ ، ك = ١ ، ١ يد وهي الميثيل والكربونيل والهيدروكسيل . واصلاح جمع المقطعتين - ك = ١ ، ١ - ١ يد في مقطع واحد - ك ١ ١ يد ولذلك يسمى مجموعة كربوكسيل . وعلى هذا النمط تسمى المركبات العضوية البسيطة حسب اسماء مقاطعها .

وقد ترتبط ذرات الكربون وتكون حلقات مثل جزئ البنزين شكل (٦) .

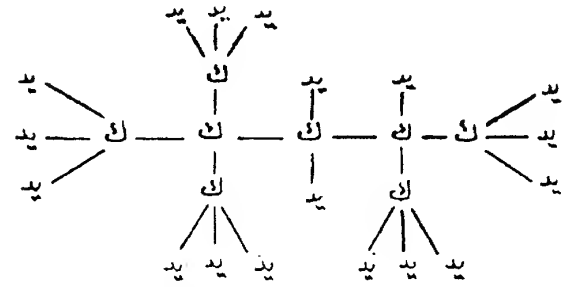
وقد سجل محل ذرة أو اكثر من ذرات الهيدروجين في البنزين مجموعات أخرى مثل - ك يد ٣ أو - ١ يد أو - ن يد ٢ وتكون مركبات أخرى مثل التولوين والفينول والأنيلين .

وقد تكون المركبات بها حلقات غير متجانسة الذرات ، فاذا كتبنا على سبيل التبسيط بناءها

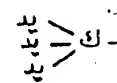
ويمكن وضع الصيغة الكيميائية بشكل عام مع حذف الخط الدال على الترابط فيكتب الميثان ك يد ٤ ، والنشادر ن يد ٢ ، والماء يد ٢ وكبريتيد الهيدروجين يد ٢ كب .

وقد يحدث الترابط بين ذرتين بأكثر من رابطة مثل جزئ الأكسجين (١ = ١) وجزئ النتروجين (ن = ن) وثاني أكسيد الكربون (١ = ك = ١) وسانييد الهيدروجين يد - ك = ن

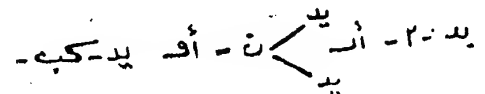
وللكربون القدرة على تكوين سلاسل من الذرات المترابطة مثل الأيزواكتان وبها فروع كما في الشكل (٣)



والمجموعة المكونة من ترابط الكربون مع ١ ذرات هيدروجين تسمى مجموعة الميثيل .



ويمكن أن تتصل مجموعة الميثيل بذرات أخرى غير الهيدروجين أو الكربون فقد تتصل بمجموعة أخرى مثل :



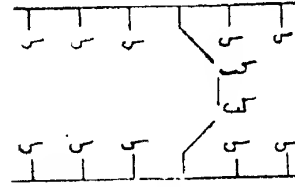
جزىء الجسم المهاجم فيحدث تجاذب بينهما ، أى يحدث تجمع كبير من الذرات على جزىء . يمكنه شغل مكان خال فى الجسم الآخر ، وينتج عن هذا الارتباط بين الجسم المضاد والفريسة مكونين معا جسما واحدا غير ضار .

ويمكن فهم وظيفة انزيم ما وعمله اذا تصورنا أن له تشكيلة من السلاسل الجانبية تسمح لمادتين كيميائيتين متفاعلتين بالدخول بسهولة فى فراغين متجاورين فى تشكيلة الانزيم وبذلك يتلاقان ويتفاعلان بسرعة على سطح الأنزيم . فهو بمثابة وسيط (سمسار) يجمعهما لتفاعلا ، ثم يترك ناتج التفاعل سطح الانزيم خاليا ليسمح بتكرار العملية واستمرار التفاعل . فالأنزيم يعجل التفاعل بين مادتين ويسمى عامل وساطة catalyst وطبيعى أن الأنزيم المناسب لتعجيل تفاعل ما لا يناسب تفاعلات من نوع آخر .

وتستطيع سلسلة البولى ببتيدات الانثناء الى حد ما ، وتظل فى وضع الانثناء بتأثير قوى كهربائية ضعيفة توجد حشما تقع ذرة هيدروجين بين ذرتين متجاورتين من النتروجين أو الأكسجين أو بين ذرة نتروجين وذرة أكسجين . وتسمى هذه الرابطة « رابطة هيدروجين » ، ويظل البولى ببتيد منشيا ما دامت روابط الهيدروجين باقية التأثير فيه ، والسلاسل الجانبية فى المواقع المناسبة من الجزىء . لعمل الجسم المضاد كإنزيم نوعى .

والبروتينات تتغير طبيعتها بالمؤثرات الخارجية مثل التسخين الهين أو الرج الشديد لانها تحطم الروابط الهيدروجينية الضعيفة فتفقد السلسلة شكلها المميز وتتلف تشكيلة السلسلة الجانبية فلا يستطيع البروتين القيام بوظيفته .

وبنفس الطريقة يمكن أن تتحد الببتيدات بمثل هذا الترابط فتكون سلاسل طويلة من الببتيدات تسمى الببتيدات العديدة أو البولى ببتيدات . وقد تكون لها سلاسل جانبية . وقد ترتبط سلسلتان من البولى ببتيدات بواسطة رابطة تسمى « وصلة ثنائى كبريتيد » . فاذا رمزنا للسلسلة الاساسية للبولى ببتيد بخط أفقى ووصلت بسلاسل جانبية ، ولنرمز لها بالرمز س ، وللموصلة بين السلسلتين بالرمز ك ب فان مثل هذا يمثل الشكل (٩) الدال على سلسلتين من البولى جلايسين متصلتين ومكونة للجزىء المسمى سستين .



شكل (٩) تكوين السستين

تشكيلات البروتينات :

وبتين من دراسة السلاسل الجانبية للبروتينات أن لها طائفة كبيرة من الخواص . ويتفرع جزىء البروتين بتشكيلات متعددة من السلاسل الجانبية ، فقد توجد على أحد جوانبه شحنة كهربائية سالبة وعلى جانبه الآخر شحنتان موجبة ، وبناحية أخرى من الجزىء لا توجد شحنتان . وبهذه النظرية يفسر عمل الأجسام المضادة التى تتواجد فى الجسم . فقد يبنى الجسم البروتين بتشكيلة ذات سلسلة جانبية تناسب السلسلة الجانبية فى بروتين آخر أو فى فيروس أو بمكان معين على سطح جسم البكتريا بحيث تكون الشحنة السالبة على الجسم المضاد تجاه الشحنة الموجبة على

الوظائف تماما • وهذا ما يحدث من ظواهر في اختلاف خواص فاسو بروسين الثور وفاسوبروسين الخنزير لأن الاختلاف في البناء ليس جوهرياً • فالهرمونان كلاهما يخفان من حدة مرض السكر •

والأنسولين مثلاً تركيب معقد وهو هرمون يعمل على تمثيل السكر في الجسم • وقد درست عدة أنواع من جزيئات الأنسولين الناتجة من بنكرياس حيوانات مختلفة وتأثير التغيرات في بنائها على وظيفة الأنسولين •

ولوحظ أن جزيء الهيموجلوبين أكبر من جزيء الأنسولين ١٠ مرات وبه ٥٧٤ حامضاً أمينياً موزعة على ٤ سلاسل بولي بيتيد متماسكة بروابط ثنائي كبريتيد (- ك - ك) وبجاذب كهربى • وبين هذه السلاسل اثنان متشابهتان تماماً وتسميان « السلسلة ألفا » وبكل منهما ١٤١ حامضاً أمينياً • والسلسلتان الأخريان متشابهتان أيضاً وتسميان « السلسلة بيتا » بكل منهما ١٤٦ حامضاً • ووجد أن من بين هذه الأحماض العديدة في الهيموجلوبين إذا تحول حامض معين، وهو حامض الجلوتاميك ، من موضعه في السلسلة إلى فالين في كل سلسلة ، فإن الجزيء يتحول إلى نوع معين من الهيموجلوبين • أما تحول هذا الحامض إلى لايسين فإن الجزيء يصبح من نوع معين ثالث • أما الأحماض الخمسة الأخرى فتظل متطابقة في طبيعتها وموضعها • ويبدو أن الفرق بين الحياة الصحية والموت المبكر يكمن في حمضين أمينيين •

وفي سنة ١٩٥٩ تمكن كندرو من بناء بروتين يوجد في العضلات ويشبه الهيموجلوبين في

وتمكن الكيميائيون من فصل الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات باستخدام طريقة دقيقة تسمى « كروماتوجرافيا الورق » ، أساسها اختلاف سرعة سريان المواد وهي في المحلول في ورق كالنشاف في ظروف معينة • فبعد زمن معين نجد الأحماض الأمينية المختلفة قد سرت في الورق إلى مسافات تختلف باختلاف المادة في نفس الظروف • وقد تمكن أحد العلماء من فصل الأحماض الأمينية المكونة للأنسولين الذي تفرزه خلايا في البنكرياس •

وأجريت تجارب عديدة على بروتينات عديدة منها الأكسيتوسين والناسوبرسين وتبين أن تركيبهما بسيط • وتمكن العالم الأمريكي « دى فينو » من بناء جزيء البروتين من أحماضه الأمينية وكان للبروتين الناتج بالتخليق نفس خواص البروتين الطبيعي ، وقد منح جائزة نوبل سنة ١٩٥٥ تقديراً لهذا العمل العظيم • واكتشف أيضاً أن الفاسوبرسين الناتج به ثمانية أحماض أمينية مختلفة إذا كان ناتجاً من الثيران • كما حضر دى فينو أيضاً هرمونا آخر بالتخليق وهو (أكسيتوسين) ووجد أنه يتركب من ثمانية أحماض أمينية أيضاً ، ولكن تطابق ستة منها ما في الفاسوبرسين ويختلف اثنان فقط وبمقارنة الصيغ البنائية لكل من الهرمونين نجد أن الاختلاف في البناء يؤثر تأثير كبيراً في وظائف كل منهما • فالأكسيتوسين لا يرفع ضغط الدم بقدر ما يرفعه الهرمون الآخر •

وبالرغم من أن الاختلاف في البناء في سلسلتين جانبيتين فقط من بين ثمانية فإن أثره كبير • ولكن قد يكون الاختلاف طفيفاً فلا يسبب انعدام إحدى

ويحتاج هذا الأمر الى استخدام كل أنواع الجزيئات المختلفة للبروتينات أنموذجا معنا لينى كل جزيء على الجزيء المائل السابق تكوينه . ولكن لم يستطع أحد تكوين نسخة مطابقة لبروتين بواسطة بروتين حيوى مهما استخدم من المحفزيات . ولكن الكروموسومات هى التى تستطيع الانشطار وتكوين نسخة طبق الأصل منها وتسمى هذه العملية « التناسخ » . وقد ساد الاعتقاد بأن الكروموسومات التعليمات اللازمة لصناعة البروتين . وكان المعتقد منذ نشأة نظرية الكروموسومات فى علم الوراثة أن الكروموسومات تتكون من جسيمات يسمى الواحد منها « جين » وأن الجينات تحمل الشفرة الوراثية . والجين لا يعطى الصفة الوراثية لكنه يعطى التعليمات لكى تنتج الخلية سلسلة من بولى ببتيد معين يتكون منه الأنزيم الخاص الذى يستطيع بدوره تحفيز تفاعل يعطى الصفة المعينة التى تورث ، مثل لون العيون الزرقاء . لكن الوظيفة النهائية للجين كانت انتاج بروتين معين .

وأجرى جورج بيدل سنة ١٩٤١ تجارب تبرهن على أن الجينات هى التى تنتج البروتينات المعينة . فقد جعل سلالة البرية من العفن تنمو فى بيئة بها سكر وأملاح غير عضوية تحتوى بعض مركبات التروجين فاستطاع العفن بناء ما يحتاجه من أحماض أمينية دون اضافة أى من هذه الأحماض الى بيئة تربية العفن .

ولكن بيدل وتاتوم عرضا جراثيم هذا العفن للأشعة السينية فلم تستطع هذه الجراثيم النمو فى نفس البيئة السابقة، لكنها نمت بعد اضافة حامض أمينى معين (هو اللايسين) الى بيئة النمو . وكان

هرمان مولار قد اثبت سنة ١٩٢٦ أن الأشعة السينية تحدث تغيرات فى الجينات تسمى « الطفرة » والظاهر أن تعريض جراثيم العفن للأشعة السينية أفقدتها القدرة على بناء اللايسين من الأملاح التروجينية غير العضوية ، فلم يتكون أحد الأنزيمات المحفزة لتفاعلات تكوين اللايسين . فالأشعة السينية تلتف « جينا معينا » . ووضع بيدل وتاتوم نظرية تسمى نظرية الجين الواحد للأنزيم الواحد . وحسب هذه النظرية يعتبر الجين الواحد مسئولاً عن تكوين كل سلسلة عندما يكون الأنزيم مبنيا من أكثر من سلسلة واحدة من البولى ببتيد ، لذلك كان الواجب أن تسمى بنظرية الجين الواحد للبولى ببتيد الواحد . وقد حصل مولر على جائزة نوبل سنة ١٩٤٦ تقديرا لعمله الأصيل فى تأثير الأشعة السينية على الجينات واحداث الطفرة ، كما حصل بعده كل من بيدل وتاتوم على نفس الجائزة سنة ١٩٥٨ على معالجتهما للعفن بالاشعاع . وقد ساد الاعتقاد أن مجموعة الكروموسومات التى تبدأ الخلية الملقحة حياتها بها تحمل التعليمات اللازمة لمجموعة الانزيمات التى تساوى عدد الجينات، وهذه التعليمات كالطبعة للرسم الهندسى للبناء . وهذه « الطبعة » هى ما نسميه الآن « الشفرة الوراثية » . فالشفرة الوراثية تحملها الكروموسومات . وفى المفهوم الحديث للنظرية الكروموسومية ترتبط خاصية توارث الصفات بتركيبات معينة فى النواه هى الكروموسومات ، وتعتبر الجينات هى الحامل الرئيسى للصفات الوراثية . ولكن ما تركيب هذه الجينات ؟

ولقد وجد البرت كوسل منذ أجرى تجاربه على الحيوانات المنوية للسلمون أنها عبارة عن

خاصية حملة للأكسجين ، ولكن حجم جزيئه ربع حجم جزيء الهيموجلوبين . ويسمى هذا البروتين « مايجلوبين » ، وبه سلسلة بيتيد واحدة ومجموعة هيمي واحدة بها حديد وبالسلسلة الوحيدة ١٥٠ حامضاً أمينياً . وتأكد كندرو باستخدام حيود الأشعة السينية من موضع كل جزء من أجزاء البناء ، وبنى أنموذجاً مجسماً للبروتين فحصل على جائزة نوبل سنة ١٩٦٢ تقديراً لجهوده .

فعالة تشكيلات البروتين :

بعد أن عرفنا أن تغير موضع حامض أميني في البروتين يسبب اختلافاً كبيراً في الخواص والوظائف نحاول أن ندرس احتمالات التغيرات التي تسبب التباين اللانهائي في أنواع الأنزيمات والأجسام المضادة وغيرها .

فاذا عدنا الى التشبيه بالكلمات في اللغة وتنوع الجمل الممكنة من عدد محدود من الكلمات نجد أن في اللغة تتكون الجمل من حصيلة تبلغ آلاف الكلمات ، ولكن لغة كيمياء البروتينات كلماتها عبارة عن ٢٢ حامضاً أمينياً فقط .

وترتيب الكلمات في اللغة تحددها قواعد لغوية ، وهذه تحدد المواضع الممكنة للكلمات ليكون للجملة معنى . ولكن الأحماض الأمينية يمكن أن تترتب في جزيء البروتين بأي ترتيب . فاذا أخذنا الفاسوبروسين أو الأكسييتوسين مثلاً نجد بكل منهما ٨ أحماضاً أمينية فاذا رمزنا لكل منها برقم من ١ الى ٨ فمن الممكن حساب التشكيلات المختلفة لترتيب هذه الأحماض الثمانية

في الجزيء . وبالحساب يبلغ عددها ٤٠٣٢٠ تشكيلة . أما في حالة الأنسولين فنجد فيه ٣٠ حامضاً أمينياً ، فاذا كان ١٥ من هذه الأحماض مختلفة أى يوجد جزيئين من كل منهما في جزيء الأنسولين فإن عدد التشكيلات الممكنة من هذه الأحماض تبلغ ٨ أوكتيون أى العدد ٨ وعلى يمينه ٢٧ صفراً .

أما اذا افترضنا أن بالهيموجلوبين ١٤٠ حامضاً أمينياً وانه مكون سبع مجموعات بكل منها ٢٠ حامضاً أمينياً فإن عدد التشكيلات المحتملة يبلغ عدداً فلانياً تصعب قراءته يبدأ بالعدد ١٣٥ والى يمينه ١٦٥ صفراً ، وهو أكبر من عدد الذرات في كل الأجرام السماوية المعروفة في الكون .

ومن ثم نجد أن عدد البروتينات المختلفة الممكن بناؤها من ٢٢ حامضاً أمينياً يمكن اعتباره غير محدود . والواقع أن تنوع تشكيلات البروتينات كقيل بهذا الشكل المعقد للحياة . فمن بين ٤٠٣٢٠ تشكيلة للفاسوبروسين يختار الجسم تشكيلة واحدة فقط ويضعها ويرفض الباقي كما يختار الجسم تشكيلة واحدة من الأنسولين من بين ٨ أكتيون .

والآن تسأل كيف يتحكم الجسم في التشكيلة الممكنة ويحافظ عليها دوماً ؟ للإجابة على ذلك يجب أن نعرف مكان شفرة الوراثة .

مكان شفرة الوراثة

في بحث مكان شفرة الوراثة بالحلية رأى أنه يجب بناء الحلية بطريقة المقارنة بالحلية السابقة .

حامض النوويك والباقي بروتينات بسيطة تدعى بروتامين صغير الجزيئات وبسيط التركيب. وكان ٩٠ في المائة من البروتامين عبارة عن نوع واحد من البروتين يسمى أرجينين. فكيف يحمل هذا البروتين شفرة الوراثة؟ ووجد أن بروتين كروموسومات السلمون من نوع يدعى «هستون» وهو بروتين بسيط ولكنه أكبر من البروتامين. وثبت من الكثير من التجارب العلمية أن البروتينات ليست حاملة للصفات الوراثية.

نهوض حامض النوويك

من المعلوم أن للالتهاب الرئوي سلالتين من البكتريا تسمى احدهما بالسلالة س والأخرى بالسلالة ر. وقد وجد أنه إذا أُضيفت السلالة س بعد أن تموت بالغليان الشديد إلى السلالة ر. الحية تنتج خلايا بكتيرية حية من قدرة السلالة س. ولم يعد هناك أى شك في قدرة سلالة البكتريا الميتة على إعادة الحياة إلى نفسها بواسطة السلالة ر. الحية. ولتفسير هذه النتيجة العملية نفترض أن السلالة ر. الحية قد تحولت إلى السلالة س. الحية بواسطة مادة في السلالة س الميتة، أو أن بالسلالة س جين يتحكم في أنزيم يغير شكل جسمها ويحولها إلى السلالة الأخرى بينما لا يوجد هذا الجين في السلالة ر. وبإضافة خلايا السلالة س. الميتة نكون قد أضفنا ما بها من الجين المعين غير الموجود في السلالة ر. فلتلقطه هذه السلالة بطريقة ما تجعلها قادرة على تكوين الأنزيم الذي يحول شكلها إلى شكل السلالة س.

الألكترونى على تكوين الفيروس وعلى بناء البروتينات. وظهر أن حامض النوويك الذى يوجد نواة كل خلية هو المادة الأساسية للكروموسومات. وثبت باستخدام ذرات الفوسفور والكبريت المشعة في غذاء نوع من الفيروس يسمى البكتريوفاج يصيب البكتريا فيقتحم خلاياها وتتكاثر بها ويقتلها. وسمح للبكتريوفاج المحتوى على ذرات مشعة إصابة خلايا بكتريا لا تحتوى على ذرات مشعة وفحصت بعد ذلك فوجد أن الفوسفور المشع هو الذى يدخل في البكتريا بينما يبقى الكبريت خارجها. فالجزء الداخلى بالفيروس هو حامض النوويك وهو الذى يقتحم البكتريا بينما الغشاء البروتينى للفيروس يبقى بالخارج. ولا ينتج حامض النوويك الذى بالفيروس جزيئات أخرى منه بل ينتج في خلية البكتريا أغشية بروتينية تحيط بحامض النوويك مكونة فيروسات كاملة. ومن ذلك استنتج أن شفرة الوراثة يحملها حامض النوويك ولا يحملها البروتين، لأن هذا الحامض يستطيع وحده تكوين جزيئات البروتين المعينة المشابه للغشاء البروتينى للفيروس نفسه.

وثبت أيضا وجود ارتباط بين حامض النوويك والبروتين. فحامض النوويك هو الجزء الحيوى في الفيروس. ودلت التجارب التى أجريت سنة ١٩٤٤ وما بعدها أن حامض النوويك يوجد في كل خلية من خلايا أى كائن حي وكذلك في كل فيروس وأنه هو حامل شفرة الوراثة.

جنسان من حامض النوويك :

وقد دلت التجارب على احتواء حامض النوويك على مجموعات سكرية كأجزاء في بناء جزيئاته،

فلم يعد شك في أن الشفرة الوراثية يحملها الحامض النووى. وقد دل استخدام الميكروسكوب

ولكنها تختلف عن السكريات المألوفة • فهي من نوع خاص يسمى الريبوز الذى كشفه العالم الروسى ليفين منذ سنة ١٩١٠ فى حامض النووىك ، وهو لا يوجد فى كل أنواع حامض النووىك اذ يوجد نوع آخر من هذا الحامض به اختلاف بسيط فى بناء الريبوز وهو نقص ذرة اكسجين واحدة ، لذلك يسمى هذا السكر دياوكسى ريبوز (أى الريبوز الناقص اكسجين) • وبناء على هذا الاختلاف البسيط قسم حامض النووىك الى نوعين هما الريبونووىك ويعبر عنه بالحروف الثلاثة د ن ا ، والديأوكسى ريبونووىك ويعبر عنه بالحروف الثلاثة د ن ا (وهذه ترجمة للحروف الأولى من اسم كل منهما بالإنجليزية وهى RNA أو RNA) وشاع استخدام هذه الحروف للدلالة على هذين الحمضين •

ولا يوجد أى نوع آخر من السكر عدا الريبوز أو الديأوكسى ريبوز فى أحماض النووىك • كما لا يوجد النوعان معا فى أى حامض نووىك واحد • ويوجد د ن ا فى النواة فقط بالكروموسومات ، كما يوجد اقليل من ر ن ا فى النواة لكن أغلبه خارج النواة فى السائل المسمى سيتوبلازم • وحسب ما نعلم حتى الآن تحتوى كل الخلايا الكاملة على د ن ا وكذلك ر ن ا • ما عدا الفيروسات البسيطة التكوين فتحتوى على ر ن ا فقط •

البورين والبيريميدين :

توجد أيضا فى حامض النووىك طائفتان من المركبات التروجينية هما طائفة البورينات وطائفة البيريميدينات • وقد فصل من الحامض النووى

نوعان من البورينات هما الأدين والجوانين • كما فصل أيضا ثلاثة أنواع من البيريميدينات هى التايمين واليوراسيل وسيتوسين • ويوجد فى د ن ا من هذه المركبات أدين وجوانين وسيتوسين وتايمين • أما فى ر ن ا فيوجد الأدين والجوانين والسيتوسين مثل د ن ا ولكن يوجد اليوراسيل فى ر ن ا بدلا من التايمين • أى أن فى كل نوع من الحامضين ٤ أنواع من هذه المركبات التروجينية الخمسة • ويلاحظ أن بناء التايمين لا يختلف كثيرا عن بناء اليوراسيل فالتايمين فى د ن ا يكافئ اليوراسيل فى ر ن ا •

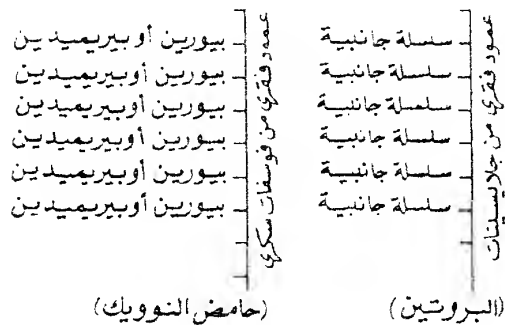
تجميع اجزاء حامض النووىك :

وتبين أن حامض النووىك ليس نوعا واحدا بل أنواعا عديدة جدا تكون كلها ثلاثة أجزاء رئيسية هى (١) مجموعة الفوسفات (٢) الريبوز أو الديأوكسى ريبوز (٣) مجموعة بورين أو بيريميدين من مجموعاتها الخمسة •

فينى كل من الحامض د ن ا والحامض ر ن ا من ست كلمات فقط من بين الثمانية • واستقر الرأى بعد البحوث المضنية على أن الريبوز أو الديأوكسى ريبوز يتصل بمجموعات فوسفات من ناحية وبمجموعة بورين أو بيريميدين من الناحية الأخرى وتسمى هذا الترابط بين المجموعات «نيوكليوتيد» فتحتوى كل من نيوكليوتيدات ر ن ا على مجموعة ريبوز بالإضافة الى مجموعة أدين أو جوانين أو سيتوسين أو يوراسيل أى توجد أربعة احتمالات لتكوين الأحماض الأربعة وهى حامض دانيليك وحامض جوانيليك وحامض سيتوبليك وحامض يوريديليك ، كما يرتبط

ومجموعة ريبوز مجاورة من ناحية أخرى فتكون سلاسل طويلة من نيوكليوتيدات عديدة تسمى بولي نيوكليوتيدات . فيكون للبولي نيوكليوتيدات عمود فقري مكون من فوسفات سكري بطول السلسلة وتتصل به مجموعات بيورين أو البريميدين متنوعة ، وتغير السلاسل الجانبية فقط وهي البيورين أو البريميدين في جزئ حامض النوويك .

ويمكن التعرف على التشابه بين بناء البروتين وبناء حامض النوويك والاختلاف بينهما من الشكل ١١ • وهو رسم مبسط لكل منهما قوامهما عمود فقرى وسلاسل جانبية •



كان المعتقد حتى الأربعينات من القرن العشرين أن جزيء حامض النوويك صغير الحجم نسبياً ، وكانت فكرة اقترانه بالبروتين تدعو الى تأييد صغر حجمه لأن في كل بروتين مقترن وجد أن البروتين هو الجزء السائد في تكوين الجزيء . ووجد أن الهيموجلوبين ، وهو بروتين مقترن ، وبه الجلوبين والهيمي ، والجزء النشط فيه هو الهيمي الذي توجد في وسط كل مجموعة من مجموعات ذرة حديد تتصل بها جزيئات الأكسجين

1.7

أضعاف ما فى جزئى بروتين • وبذلك ثبت أن حامض النووىك جدير بحمل شفرة الوراثة دون مساعدة ما ، بل ثبت أنه يحمل فعلا هذه الشفرة •

ويعتقد أريموف (مؤلف كتاب الشفرة الوراثية) أن تركيب البروتين المعقد وعدد وحداته الكبير جدا يجعلانه لا يتحمل « طبعه » الصفات الوراثية ، كما يعتقد عدم استطاعة البروتين نقل شكله المعقد بترتيب تشكيلاته المختلفة المعقدة الى الجيل الثانى بالتناسخ وانقسام الخلية • فإن تعقد بناء البروتين يعرضه الى احتمال الخطأ فى اختيار التشكيل الوحيد المناسب لحمل شفرة الوراثة صحيحة ونقلها من جيل الى جيل •

ولنفترض أن سلسلة البولى نيوكليوتيد تختزن فى نفسها التعليمات اللازمة لنقل الصفات الوراثية ، فلهذه السلسلة عمود فقرى مكون من فوسفات سكرى يتصل بحلقات من ذرات • وهو بناء أثبت وأرسخ من العمود الفقرى للبروتين المكون من سلسلة من الذرات • كما أن سلسلة البولى نيوكليوتيد ذات الوحدات الأربعة المختلفة تكسب الجسد مقدرة وكفاءة فى حسن اختيار الموضوع المناسب للترابط من بين أربع حالات محتملة فقط بدلا من ٢٢ فى حالة البروتينات •

البناء الحلزونى :

وكشف بالبحث المتواصل وجود نظام معين ثابت لتكوين البولى نيوكليوتيدات بجميع الكائنات من الفيروس الى الإنسان • ويتلخص هذا النظام الثابت فيما يلى :

١ - أن مجموع عدد الأدينينات يساوى تقريبا

مجموع عدد التايمينات فى دن ١ (أو عدد اليواسيلات فى رن ١٠) •

٢ - أن مجموع عدد الجوانينات تساوى تقريبا عدد السيتوسينات •

٣ - أن عدد اليورينات (وهى الأدينين والجوانين) يساوى مجموع عدد البيريميدينات (وهى التايمين والسيتوسين فى دن ١ أو اليوراسيل والسيتوسين فى رن ١٠) • وكان هذا الكشف العظيم مفتاح لغز شفرة الوراثة ومفتاح بناء حامض النووىك •

ودرس واطسون وكريك بناء حامض النووىك باستخدام طريقة تصوير حيود الأشعة السينية التى توجه صوب الحامض وتبين لهما أى جزئى حامض النووىك يتكون من ترتيب فريد حلزونى الشكل يتألف من سلسلتين من البولى بيتيد حلزونيتين ومتداخلتين مشتركتين فى محور واحد فى الوسط بينهما وموازيا لطول كل منهما • ويتكون خطوط كل حلزون من عمود فقرى قوامه فوسفات سكرى ، بينما تتجه اليورينات والبيريميدينات الى الداخل تجاه المركز • والشكل ١٢ يوضح هذا النموذج لبناء حامض النووىك •

وتوجد ثلاثة احتمالات لهذا الترتيب : فقد يترابط البيورين بالبيورين أو قد يترابط بيريميدين بيريميدين آخر بنفس الطريقة ، أو قد يترابط بيورين بيريميدين ، وهذه الترابطات تحدث بواسطة نسميها رابطة هيدروجين • وهذه هى الاحتمالات النظرية للترابط • وقد استبعد منها اثنان وثبت وجود

بالحروف الأولى من أسمائها للتبسيط ، فإذا كان الحرف ا = أدنين ، ت = تايمين ، ج = جوانين ، س = سايتوسين ، فإذا كان فرضنا هو أن ترتيب النيوكليوتيدات في أحد أنواع الحامض بسلسلة دنا هو الآتى : (ا ت ت ج ت س س ا س ا ج ا ت ا س ج ج) فمن السهل حسب ما عرفنا استنتاج الترتيب فى الجزء المقابل بالسلسلة فيكون (ت ا ا س ا ج ت ج ت س ت ا ت ج س س) لأن ا يقابلها ت ، س يقابلها ج دائما ويسمى ا مكمل للجزء ت وبالمثل س تكملها ج . ومعنى التكملة امكان الترابط .

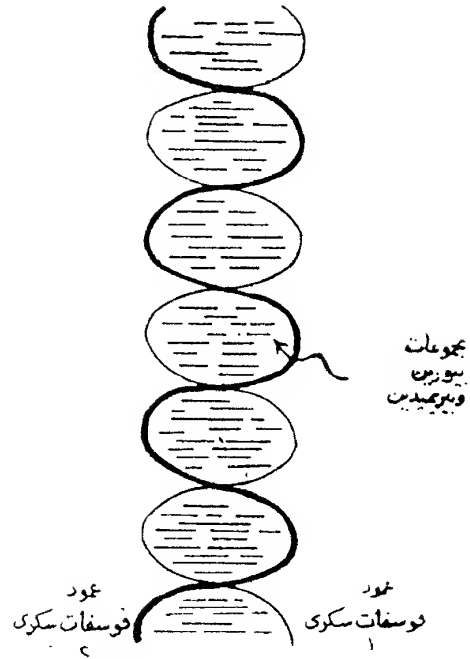
أما فى سلسلة ر.ن.ا فالاختلاف عن د.ن.ا لا يتجاوز وجود اليوراسيل فى مكان التايمين ت .

الان من الواحد :

وقام واطسون وكريك بتطبيق نظريتهما على انقسام الخلية وقالوا أن جزيئات حامض النوويك المختلفة والمكونة للجيئات والكروموسومات تشطر نفسها بواسطة عملية تجعل كل شطر كأنموذج للشطر الآخر . وتسمى هذه العملية «التاسخ» .

فلنفرض جزيئا من دنا مكونا من الشريط المزدوج العادى وبه أربعة نيوكليوتيدات فى كل شريط . ولنفرض أن الشريط الأول يتكون من النيوكليوتيدات الأربعة بالترتيب الآتى ا س ا ج ، فالواجب ان يحتوى الشريط الثانى على النيوكليوتيدات الأربعة المكملة وهى ت ج ت س .

وعندما ينفصل الشريطان يكون بالشريط الأول أنموذج يستطيع الانتفاع بالنيوكليوتيدات

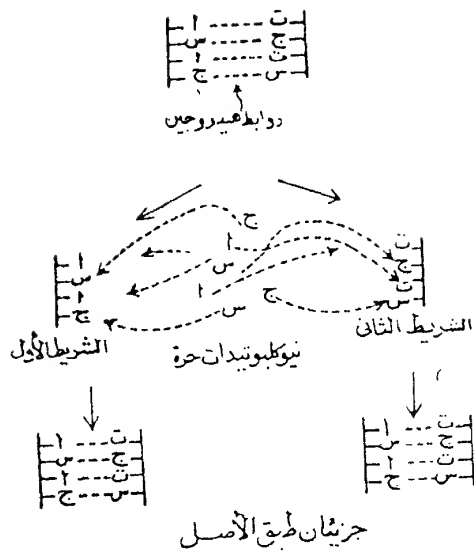


شكل (١٢) جزىء حامض النوويك

احتمال ترابط اليورين مع البريميدين فقط وعلى طول الشريطين الحلزونين حيث يمتد يورين الى الداخل من أحد الحلزونين ويمتد البريميدين من الحلزون الآخر من نقطة مقابلة ويرتبط الاثنان فى الوسط برابطة هيدروجين .

وبما أن عدد الأدنينات فى الحامض يساوى عدد التايمينات (أو اليوراسيلات) وكذلك بما أن عدد الجوانينات يساوى عدد السايتوسينات فمن الواضح أن الأدنين يجب أن يرتبط بتايمين (أو يوراسيل) بروابط هيدروجين . ويجب أيضا أن يرتبط الجوانين بالسايتوسين . وثبت بهذه الطريقة احتمال الترابط فى حامض النوويك ، وهذا يثبت امكان المحافظة على النسب المتساوية بين اليورينات البريميدينات فى حامض النوويك .

ويمكن التعبير عن اليورينات والبريميدينات



شكل (١٣) عملية التناسخ

أخطاء التناسخ :

ومن المحتمل حدوث بعض الأخطاء عند التناسخ فلا يحدث الترابط السليم طبق الأصل وبذلك يتكون شريط شاذ الترتيب ، أى حامض نوويك ذو طبيعة غير مطابقة لأصله فى الخلية الأصلية . ويؤدى ذلك الى حدوث خلل فى شفرة الوراثة ، وبالتالي لا يستطيع حامض النوويك الشاذ أن يؤدى نفس الوظيفة الأصلية وهى انتاج انزيم معين فينتج انزيم آخر ، وهذا يحدث اختلافا فى نوع التفاعل الكيميائى المعين بالخلية فتحدث تفاعلات أخرى غير أصيلة . وهذا ما يسمى «الطفرة» ومعناها ظهور صفة مميزة جديدة لم تكن بالخلية الأم . ويعتقد الكثيرون أن الطفرة فى الخلية هى سبب تكوين خلايا مشوهة الترتيب المنظم لانقسامها ، وتنقسم هذه الخلايا المشوهة بالتناسخ ، وتكون أعدادا غير محدودة من هذه الخلايا غير العادية ، وهى ما نسميه «السرطان» .

الحررة التى تنتجها الخلية بسهولة والتى توجد دائما بكميات مناسبة وبالأنواع المناسبة ، فيستطيع الأدينين الترابط مع الجزء المكمل له وهو التايمين فتكون الرابطة أ - ت . ولكن الترابط قد يحدث أيضا بين ا ونيوكليوتيد آخر غير ت ولكنه أقل قوة ، فمن السهل أن يحل المكمل مكانه ، وبذلك يتم الترابط الوثيق المناسب . ويحدث هذا الترابط بالتصادمات السريعة بين النيوكليوتيدات الحررة المختلفة والأماكن المختلفة فى الشريط ، ويتم الاختيار المناسب الوثيق فى سرعة خاطفة تبلغ جزءا من ألف جزء من الثانية أو أقل .

وبنفس الطريقة يترابط السيتوسين س بحامض الجوانيليك ج . وبالإيجاز تتحد اس ا ج بالشريط الأول بالأجزاء المكمل لها وهى ت ج ت س على الناحية الأخرى المقابلة أما الشريط الثانى المنفصل ت ج ت س فيستكمل بالأجزاء المناسبة اس ا ج بالترتيب وبذلك يتكون شريكان مزدوجان من الشريط الواحد . وهذه هى عملية التناسخ . والشكل ١٣ يوضح طريقة التناسخ .

ولقد أعجب العلماء تفسير واطسون وكريك للترابط والتناسخ فى حامض النوويك المكون للكروموسومات ، ولكنهم احتاجوا تفسيراً بالدليل القاطع . فأجريت تجارب على البكتريا بانماثها على بيئة تحتوى مركبات التروجين المشع (ن - ١٥) بدلا من التروجين العادى (ن - ١٤) وذلك لتتبع انتقال التروجين المشع من البيئة الى الكروموسومات بقياس الأشعاعات الذرية والتعرف على أماكن وجودها فى خلايا البكتريا . وقد أتت النتائج مؤيدة لنظرية واطسون وكريك .

وقد تحدث طفرة بسبب انشاء الأشرطة وتكوين حلقة أثناء التناسخ فلا يمكن حدوث التناسخ الصحيح ويحدث التشويه فى الخلايا وتكاثرت هذه الخلايا المشوهة .

وقد تحدث الطفرة بعض العوامل البيئية كاختلاف درجة الحرارة أو الاشعاع كاشعة الشمس والأشعة السينية أو الأشعاعات الذرية والكونية ، أو بعض المواد الكيميائية الضارة مثل غاز الحردل، وهو من غازات الحرب التى استخدمت فى الحرب العالمية الأولى .

ولا نستطيع التخلص من تعرضنا لأسباب الطفرة تخلصا كاملاً . فالشمس تمدنا بالأشعة فوق البنفسجية كما تبعث لنا اشعاعات أخرى من مواد التربة وماء البحر ومن الجو ، ويتساقط علينا رذاذ جسيمات الأشعة الكونية من الفضاء الواسع؛ وكل هذه العوامل تؤثر فى عملية التناسخ .

وحدوث الطفرة يجعل المصاب بها غير قادر على انتاج انزيم معين أو آخر . ومن بين هذه الطفرات التى تورث مرض عدم تجلط الدم المعروف باسم الهيموفيليا .

وقد أجريت تجارب عديدة أهمها ما قام به أوكوا وكورنبرج لتخليق المركبين دنا و رنا اثبت أن دنا وليس رنا هو حامض النوويك المميز للجينات والكروموسومات ، كما أثبت أن دنا وليس رنا هو المادة التى تتناسخ فى الخلية .

وليس معنى ذلك أن رنا لا دخل له فى التناسخ . فهو يستطيع التناسخ فى حالات معينة فقط من الكائنات البسيطة البدائية مثل الفيروس البسيط الذى لا يوجد بها دنا اطلاقاً ، وهو

فيروس تبقع أوراق التبغ . فعندما يصاب التبغ به يتكاثر الفيروس فى الخلايا المصابة وتكون مئات جزيئات الفيروس وبكل منها جزيء من رنا يختلف عن أى من جزيئات رنا فى نبات التبغ ولكنه يطابق جزيء رنا فى الفيروس الأصل المهاجم . وتستطيع جزيئات رنا الحديثة التكوين النمو والأنشطار بالتناسخ .

ولكن انواع الحياة المبنية على تناسخ رنا جد بدائية . وتحفظ الحياة الخلوية بالمركب رنا . بالإضافة الى دنا . ولكل نوع من الكائنات الأنواع المميزة له من رنا .

وتبنى جزيئات رنا نفسها بواسطة استخدام دنا دليلاً قائداً أنموذجياً لها . فقد ثبت سنة ١٩٦٠ أن دنا يقوم بدور البادئ لتكوين رنا من الريبونوكليدات وكذلك لتكوين جزيء رنا . المكمل لجزيء دنا البادئ . ونستنتج من كل هذه البحوث أن دنا هو فعلاً الحامل الوحيد لشفرة الوراثة فى الخلايا . فإذا كان رنا يحمل هذه الشفرة أيضاً فإنه يقوم بذلك بناء على تعليمات تصدر اليه من قائده دنا .

• رسول النواة :

وقبل اكتشاف واطسون وكريك أنموذج جزيء حامض النوويك الحلزوني، لم يكن تقدير العلماء للدور الذى يلعبه رنا بأقل مما يستحق على الرغم من علمهم بأنه ليس المكون الأعظم مقدارا فى مادة الكروموسومات ، بل على العكس كانوا يقدرون أهميته بأكثر مما يستحق نظرا الى شدة ارتباطه بتخليق البروتينات . ومن النتائج العلمية الهامة أن تركيز دنا فى الخلايا المختلفة

مكون من رنا فقط • فالمعقول أن يتكون رنا باستمرار عند مواقع وجود دنا بالكروموسومات ثم يختزن في النوية •

وربما أن البروتين يتخلق أساسا في السيتوبلازم (خارج النواة) فمن المؤكد أن رنا يوجد بالسيتوبلازم أيضا وهذا هو الواقع لأن الجزء الأكبر من رنا في السيتوبلازم ولا يوجد به دنا إطلاقا •

وقد ثبت بالدليل القاطع وباستخدام الميكروسكوب الإلكتروني خروج تنوع صغير جدا من النواة يبرز في السيتوبلازم وكان فعلا جسيمات تحتوي على رنا • ومن ثم يتضح أن رنا يتلقف شفرة الوراثة من دنا التي بالكروموسوم ويحملها كالرسالة الى السيتوبلازم حيث تحتوي هذه الرسالة على التعليمات لبناء البروتين • وقد سبق أن أوضحنا ان وظيفة الجين هي تكوين أنزيم معين ، وأن هذا الجين هو دنا ينتج نوعا معينا من رنا ثم يقوم رنا بدوره لإنتاج الأنزيم • فالجين المعين ينتج أنزيم معينا ثم ينتج سلسلة بولي بيتد معين •

ويشبه أزيوف حامض النوويك بمر القياس المرجعي المضبوط ، وأن دنا هو المقياس المرجعي الأول كالمتر القياسي الدولي المحفوظ في مكان أمين بالقرب من مدينة باريس • وتحفظ النواة بهذا النوع من حامض النوويك (دنا) في أمان في داخلها بعيدا عن خشونة الأحداث في التفاعلات • أما رنا فيشبهه بالمقاييس المرجعية الوطنية كالمتر الوطني ، أو كالمقاييس العادية غير المرجعية، فهي معرضة للإصابة بضرر أثناء تخليق البروتين •

المكانن الحى يظل ثابتا فيما يبدو • وبكل خلية كمية من دنا ثابتة سواء أكانت تفرز مادة ما أو لا تفرز ، وسواء كانت تنمو أو توقفت عن النمو • والسبب في ذلك أن بكل خلية في المكانن الحى الواحد نفس المجموعة من الكروموسومات حيث يوجد دنا ، فيما عدا خلايا البيض والخلايا المنوية فيها كروموسوم واحد من كل زوج من الكروموسومات أى بها نصف عدد الكروموسومات التي في الخلية العادية ، فلا عجب اذا علم أن بها نصف كمية دنا العادية •

وعلى عكس ذلك ، وجد أن تركيز رنا ليس ثابتا في كل الخلايا ، بل يزداد تركيزه في الخلايا عندما يزداد تخليق البروتين فيها وعند نمو الخلية • وتعمل الخلية الزامية على مضاعفة مقدار ما بها من بروتين في الفترة بين تكوينها واستعدادها للانقسام • ولوحظ أيضا أن الخلايا التي تفرز افرازات غنية بالبروتين تكون دائما غنية بمادة رنا أيضا ، وذلك مثل خلايا الكبد وخلايا البنكرياس •

وقد وجد أنه اذا احتوى الوسط المحيط بالخلية انزيمات تفكك رنا ولا تؤثر في دنا فان جزيئات رنا تتمزق وتتقطع أجزاء صغير فيتوقف تكوين البروتين •

وكل هذه النتائج تؤكد أن رنا يقوم بدور هام في تخليق البروتين ، ومع ذلك فان دنا له الأهمية الأساسية لأنه حامل الشفرة الوراثية وانموذج البناء • أما دور رنا فتانوى في الأهمية ولو انه يوجد بنسب قد تقل عن ١٠ في المائة في الكروموسومات بالحامض النووى • وثبت وجود جسيم صغير في النواة يسمى النوية ويبدو أنه

المركب المعروف باسم الأدينوزين ثلاثي الفوسفات
أثف • وتشير الأبحاث الى أن الميتاكوندريا
بالخلايا المصابة بالسرطان تلتف ، فيقل نشاطها
الأنزيمى وتقل عمليات الأكسدة في الخلية •
وبتكبير الميتاكوندريا بالميكروسكوب الإلكتروني
وجد بالخلية جسيمات أصغر من الميتاكوندريا
سميت « ميكروسومات » الواحدة منها أصغر من
الميتاكوندريا عشرة آلاف مرة • واعتقد أنها
أجزاء صغيرة ناتجة من تكسير الميتاكوندريا
فأهملت •

وتبين من البحوث في الكيمياء الحيوية أن
الميتاكوندريا تحتوى على بروتين ومواد دهنية
تحتوى على فوسفور (فوسفوليبيدات) ، كما
تحتوى على ما لا يزيد عن نصف فى المائة فقط
من حامض النوويك من نوع رنا •

وبما أن الميتاكوندريا تعمل في التفاعلات المولدة
للطاقة وهذه ليست وظيفة رنا فكيف نعرف أين
يوجد رنا اذا لم يكن في الميتاكوندريا ؟ فاتجه
الرأى الى وجود رنا في الميكروسومات الغنية
بحامض النوويك ، وثبت أن الميكروسومات
جسيمات مستقلة ولها وظائف خاصة بها ، وأنها
مراكز تخليق البروتين لأنها تحتوى على رنا •
كما ثبت ذلك أيضا باستخدام الأحماض الأمينية
المشعة ومتابعة اشعاعاتها أثناء تخليق البروتين •

وركز الاهتمام على الميكروسومات ، فلاحظ
جورج بالاد سنة ١٩٥٣ جسيمات صغيرة منتشرة
بكثافة كبيرة على أغشية شبكية الشكل ترتبط
بالجزء الميكروسومى • وفى سنة ١٩٥٦ فصل هذه
الجسيمات الدقيقة جدا التى يبلغ صغر حجمها
جزءا واحدا من مليون جزء من حجم الميتاكوندريا
والتي تكون بحجم الجين الواحد • ووجد أن بها

وثبت أن دنا يستطيع انتاج رنا بداخل النواة
بسهولة لأن دنا متصل بالبروتينات بمواقع
الأدينين ١ ، وعندما ينتج رنا من دنا يحل
اليوراسيلات فى محل الأدينينات بسهولة •
فاليوراسيل فى رأى أزيروف كعلامة مميزة
لجزء رنا ليكون لكل من النوعين قدره المحتوم
فيبقى دنا بالميكروسومات دائما ، بينما يمر رنا
الى خارجها ثم الى السيتوبلازم • ولا شك فى أن
العامل المميز لهما لا دخل له فى وظيفة حامض
النويك وقد يكون الفرق فى بنائهما هو مجموعة
الميثيل (- ك يد ٢) التى تظهر فى دنا بانتظام
دورى •

مكان التخليق :

من المعلوم أن السيتوبلازم سائل غير متجانس
معقد التكوين يحتوى آلاف الآلاف من الجسيمات
المختلفة الأشكال والوظائف وانه مكان تخليق
البروتين • وأكثر هذه الجسيمات وضوحا فى
السيتوبلازم هى الميتاكوندريا وهى أجسام كروية
أو عضوية أو شريطية ذات قابلية جيدة للاصطبغ
بالصبغات المستخدمة فى علم دراسة الخلية •
ويتراوح طولها بين ٢ و ٧ ميكرون وقد تبلغ
هذه الجسيمات ٢٠٠٠ موزعة بانتظام فى سيتوبلازم
الخلية وتسمى هذه الجسيمات ميتاكوندريا • وقد
استنبط طرق لفصل نواة الخلايا عن
السيتوبلازم ، وتمكن العلماء من فصل الأنواع
المختلفة من الجسيمات التى بالسيتوبلازم • وتبين
أن الميتاكوندريا هذه « محطات توليد الطاقة فى
الخلية » • فهى غنية بالانزيمات وخاصة المؤكسدة
والتي يتم عن طريقها تنفس الخلية وهى تلعب
دورا هاما فى تكوين المركبات الغنية بالطاقة مثل

كل مادة رنا التى بالجزء الميكروسومى ، وأن
حوالى ٩٠ فى المائة من رنا توجد فى بعض
الخلايا فى هذه الجسيمات العديدة الصغيرة المكونة
من رنا وبروتين بنسبة كالنسبة ٥٠ : ٥٠ .
وسميت هذه الجسيمات «ريبوسومات» .

وزاد الاهتمام بالريبوسومات فى أوائل
الستينات من هذا القرن حتى تركت الميتاكوندريا
فى ظل من النسيان والاهمال . فبحث العلماء
موضوع الريبوسومات بعناية فائقة واعتقدوا أنها
مفتاح لغز تخليق البروتين . فقد كان المعتقد فى
أواخر الخمسينات أن كل جين ينتج رنا بالتناسخ
حسب رأى واطسون وكريك . وأن رنا ينتقل
الى السيتوبلازم ثم يتجمع فى شكل ريبوسومات .
ومعنى هذا الزعم أن كل ريبوسوم معين ينتج
أنزيمًا معينًا كان قد سبق أن تكون هذا الريبوسوم
من جين معين . وكان الرأى السائد أن بعض
الريبوسومات مسئولة عن تكوين هذا الأنزيم
المعين ، وبعضها الآخر تتحكم فى تكوين أنزيم
معين آخر وهكذا .

وتعددت الآراء . . ووجد أن الخلية المصابة
بالفيروس تستمر فى إنتاج البروتين بنفس معدلها
قبل الإصابة ، لكن البروتين المنتج يعطيه شيء
من التغير فبدخول الفيروس فى خلية ينتهى إنتاج
البروتين المعين ويبدأ إنتاج بروتين من نوع آخر
هو بروتين الفيروس المهاجم . وحسب نظرية
الفيروس يستبدل الفيروس ريبوسوماته
بريبوسومات الخلية المصابة . ولكن هذا مستحيل
لصغر الفيروس ، فلا يستطيع حمل الا القليل
جدا من الريبوسومات . فكيف تغلب الفلة على
الكثرة من ريبوسومات الخلية .

وأخيرا نوقش موضوع ريبوسومات رنا نفسها
لأن رنا هى التى تكون الريبوسومات وتركيبها
الكيميائى الخاص لا يؤيد فكرة استبدال
الريبوسومات بين الفيروس والخلية .

ولكن جزيئات رنا تختلف فى ترتيب مفرداتها
من كائن الى آخر فبعض جزيئات رنا فى أنواع
من الكائنات بها نسبة الأدين الى الجوانين كنسبة
١ : ٣ . ونجد هذه النسبة تنعكس فى جزيئات
أنواع أخرى فتكون كنسبة ١ : ٣ . فإذا تكون
رنا الريبوسومى بواسطة دان الكروموسومى فإن
هذه الاختلافات فى النسبة تنعكس على رنا
الريبوسومى ولكنه وجد أن رنا الريبوسومى
لا ينقل هذه النسبة من نوع من الكائنات الى آخر
فالنيوكليوتيدات موزعة بانتظام فى كل من
الكائنات .

ولعل علماء الكيمياء الحيوية كانوا يهجون
طريقا غير صحيح لمدة ثلاث أو أربع سنوات .
لأن الريبوسومات هى مواقع صناعة البروتين ،
كما أن رنا الريبوسومى ليس واسطة تكوين
البروتين ولا يحمل شفرة الوراثة ، لكنه عمود
فقرى لبناء الريبوسومات فهو بمثابة المفتاح العام
الذى يفتح كل الأقفال طالما كان شكل هذا المفتاح
مناسبا .

ويجب أن يوجد جنس آخر من رنا ينتجه
الجين بالتناسخ حسب أنموذج واطسون وكريك
ويجب أن يكون لا يحمل الشفرة الوراثية ولكنه
ينتقل من الجين الى الريبوسوم حاملا رسالة من
الجين . وهذا الجنس الآخر من رنا سمي رنا
الموصل أى رنا الرسول فهو بمثابة الدليل لانتاج
البروتين الريبوسومات ، وقد ثبت وجود رنا .

المختلفة • ولذلك لا نحتاج الا لاختيار النيوكليوتيدات الثلاثية لمحاولة حل الشفرة •

واذا حسبنا عددا احتمالات تكوين النيوكليوتيدات الرباعية نجده $4 \times 4 \times 4 \times 4$ أى ٢٥٦ نوعا مختلفا منها وهو كبير جدا فالأفضل التمسك باختيار الثلاثيات •

فاذا فرضنا أن البولي نيوكليوتيدات يتكون من الترتيب فى الشكل (١٤) فيمكن تشكيل ١١ نيوكليونيد ثلاثى منه •

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠	٣١	٣٢	٣٣	٣٤	٣٥	٣٦	٣٧	٣٨	٣٩	٤٠	٤١	٤٢	٤٣	٤٤	٤٥	٤٦	٤٧	٤٨	٤٩	٥٠	٥١	٥٢	٥٣	٥٤	٥٥	٥٦	٥٧	٥٨	٥٩	٦٠	٦١	٦٢	٦٣	٦٤	٦٥	٦٦	٦٧	٦٨	٦٩	٧٠	٧١	٧٢	٧٣	٧٤	٧٥	٧٦	٧٧	٧٨	٧٩	٨٠	٨١	٨٢	٨٣	٨٤	٨٥	٨٦	٨٧	٨٨	٨٩	٩٠	٩١	٩٢	٩٣	٩٤	٩٥	٩٦	٩٧	٩٨	٩٩	١٠٠
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

وهذا يحدد عدد النيوكليوتيدات المتداخلة بعدد صغير • ومع ذلك فإن الشفرة يجب ألا تكون متداخلة الأطراف فنجد أن العدد يتحدد فى المثال السابق بثمانية فقط ، وبذلك يمكن تكوين هذه الأحماض الأمينية • وعلى هذا النمط من البحث حلت شفرة الوراثة فوجد الآتى « وهذا ما كتبه أزيروف بالضبط » •

١ - تتكون الشفرة الوراثية من ترابطات نيوكليوتيدات ثلاثية ، أى ثلاثيات ، على طول سلسلة البولي بيتيد ويمثل كل ثلاثى حامضا أمينيا معينا •

٢ - الشفرة الوراثية غير متداخلة الأطراف •

٣ - الشفرة الوراثية أصيلة •

٤ - وأخيرا يعتقد علماء الكيمياء الحيوية أن الشفرة الوراثية عامة أى نفس الشفرة تصلح لكل الكائنات من أكبرها مثل شجرة السيكوتا الى الفيروس أصغرها •

الموصل فى سنة ١٩٦٠ عندما فصلت عينات من رنا تحتوى على توزيع للبروتينات والبريميدات يشبه التوزيع فى دنا وتأيدت صحة التوزيع بإمكان ترابط رنا بشرائط دنا فى بكتيريا استخدمت كمصدر للحصول على رنا وليست للحصول على دنا ، فتكون حامض نوويك هجين • ولا يحدث هذا التهجين الا باكمال أحد الشريطين الآخر فكان شريط رنا مكملًا للشريط دنا من ناحية المكونات البنائية لهما فى البكتريا • ويتكون رنا الموصل من دنا بسرعة خاطفة ويتفكك فور تكونه الى نيوكليوتيدات مفردة تستخدمها الخلية فى مختلف أغراضها •

وفى سنة ١٩٦٢ فصل رنا الموصل لأول مرة من خلايا الثدييات بكميات اكبر مما توجد فى البكتريا •

حل شفرة الوراثة :

من المعلوم أن فى رنا - الموصل أربعة نيوكليوتيدات مختلفة فقط (وكذلك فى دنا المكون للجين) ولكن يوجد $4 \times 4 \times 4$ أى ٦٤ احتمالا للترابط بين نيوكليوتيدين اثنين ، كما يوجد $4 \times 4 \times 4 \times 4$ أى ٢٥٦ احتمالا للترابط بين ثلاثة نيوكليوتيدات من الأربعة أنواع • ويمكن للتبسيط الرمز لكل نوع من النيوكليوتيدات بالحرف المميز وهذه الرموزى لليوراديليك وس للسايتيديليك و ا للأدينيليك •

فنجد أن النيوكليوتيدات الثنائية ١٦ فقط وهو عدد قليل لا يفي بإمكانية تكوين الأحماض الأمينية ، ولكن عدد النيوكليوتيدات الثلاثية ٦٤ وهو أكثر مما يلزم لبناء الأحماض الأمينية

ويبدو أن الحلية ، تفهم ، لغة أنواع الفيروسات المختلفة .

ونجد من هذا كله أن الصفات الوراثية توجد في حامض النوويك دنا وهي تنتقل الى أماكن تكوين البروتينات (التي توجد بالريبوسومات) ويحدث هذا الانتقال عن طريق جزيئات دنا - الموصل ، أما بقية جزيئات حامض النوويك الآخر رنا التي توجد في السيتوبلازم في حالة ذوبان فتقابل مع الأحماض الأمينية بالسيتوبلازم أيضا وتستخدمها وتنقل جزيئاتها الى الريبوسومات . ويتم تكوين البروتينات هناك عند الريبوسومات . ونجد أن الصفات الوراثية هي النتيجة النهائية لهذا البناء المحكم من التنوعات المختلفة من البروتينات التي تدير وفقا لتعليمات دنا المكون للجينات التي بالكروموسومات .

ويعتقد العلماء في احتمال يمكنهم من وضع معجم شفرة الوراثة لمعنى الترتيبات الثلاثية المختلفة للنيوكلوتيدات وبذلك يتم حل شفرة الوراثة . فنجد مثلا أن جى ي معناها تكوين السايستين وهو فالين مع ليوسين وأن يى ي معناها فينيل الالين ، وهكذا .

المستقبل :

ولعلنا ننظر في بلورة الساحر لتنبأ بالمستقبل . فنحن في أول الطريق بلوغ سلسلة من الانجازات العلمية المثمرة . فقد تمكن العلماء من استخدام أجزاء من الحلية لبناء البروتين ، فلماذا لا نستطيع بناء كل أنواع البروتين ؟ وما لدينا من العلم الآن

في هذا المجال يبشر باحتمال بلوغ هذه الغاية دون الالتجاء الى أى من صور الحياة . فقد بلغ صناعة دنا والريبوسومات ، وقد نصنع الأسولين في مصنع تدخله الأحماض الأمينية من ناحية ويخرج الأسولين من جانب آخر . وقد تمكن من أن نجعل دنا ينشطر من نفسه . كما توقع أننا قد لا نحتاج الى بنكرياس لانتاج الأسولين . ولا عجب فقد تمكن جورج كوكران سنة ١٩٦٢ من انتاج حامض النوويك وتنبأ بمستقبل صناعات كيميائية جديدة . فاذا فصلت كميات كبيرة من رنا الموصل واذا عرف الأنزيم الذي يتحكم به فقد يستخدم رنا الموصل لمعرفة نوع جزيء دنا الذي انتج رنا الموصل وقد يتصل بذلك الجزء من كروموسوم مفصول من الحلية ، فيكون هو المكمل الصحيح والذي يمكنه الاتصال به برابطة هيدروجين .

وبذلك قد نفتح طريق رسم خرائط دقيقة للكروموسومات ولو أن هذا قد بدأ فعلا منذ سنة ١٩٦٢ . وقد دلت البحوث أن بالإنسان ١٥٠٠٠٠ جين . وقد نستطيع التعرف على طبيعة كل نوع من انواع جزيئات دنا في كل كروموسوم .

وقد يمدها التحليل الوراثي للسكان في العالم بالمعلومات التي قد تؤدي الى معرفة الأسس الجسدية للأمراض العقلية . بل وقد نعرف الترابطات بين الجينات التي تورث الذكاء الحارق والابداع الفني . وكما يتساءل أزيروف في آخر كتابه الطريف الذي تتبع فيه البحث العلمي الذي أدى الى اكتشاف الشفرة الوراثية « هل سيأتى يوم ، عندئذ ، عندما نستطيع بلوغ الهدف النهائي لتوجيه تطورنا بذكاء وحكمة حسبما نريد صوب ايجاد صورة للحياة الانسانية اكبر تقدما وفضلا ؟ » .